

# 熔盐储热介绍及项目经济性分析

张少杰 唐宪友 卢昀坤

中国广核新能源控股有限公司，北京市，100070；

**摘要：**熔盐储热技术是一种安全无污染、稳定性高、储热密度高的长时储能技术，应用前景广泛。本报告主要介绍了熔盐储热技术的原理、应用场景以及分析了基于二元熔盐（60%NaNO<sub>3</sub>，40%KNO<sub>3</sub>）储热供热项目的建设成本、运营收入和运营成本，并提出影响项目经济性的关键条件和项目开发过程中关注的重点内容等，为熔盐储热项目开发提供参考。

**关键词：**熔盐储热技术；项目经济性；项目开发重点

**DOI：**10.69979/3029-2700.25.11.035

## 引言

随着可再生能源并网规模的迅猛发展，其间歇性与不稳定性对电力系统的安全稳定运行产生较大负面影响，须配置储能系统消纳可再生能源电力<sup>[1]</sup>。近年来，国家出台了一系列政策来推动储能技术的发展，例如《国家发展改革委国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见》鼓励以需求为向导，推动技术进步，探索开展储热及其他储能技术的研究和示范应用；《“十四五”新型储能发展实施方案》中指出，要加大力度发展电源侧新型储能，因地制宜发展电网侧新型储能，合理疏导新型储能成本，强化储能前沿科技攻关，实施科技创新示范工程<sup>[2]</sup>。熔盐作为一种中高温传热蓄热介质，与常规高温传热流体相比具有饱和蒸汽压较低、高温稳定性能优越、黏度低、比热容大的优势<sup>[3]</sup>，满足新型储能技术要求，是一种可大力推广的储能方式。

熔盐储热目前主要应用于光热发电的大规模储热系统中，具有较好经济性<sup>[4]</sup>。在首批 20 个光热发电示范项目中，18 个采用熔盐储热发电；已备案新增 92 个光热发电站清单中 86 个采用熔盐储热发电<sup>[5]</sup>。

根据《中国太阳能热发电行业蓝皮书》显示，截至 2023 年底，我国兆瓦级规模以上光热发电机组累计装机容量为 58.8 万千瓦；在建和拟建光热发电项目约 43 个，总装机容量 480 万千瓦，总计 538.8 万千瓦。光热发电机组均配置 8-10 小时熔盐储热系统，则以上项目对应熔盐储热量约为 4800 万千瓦时。在非光热领域，京能集团国内首创率先开创非光热型 2.1MW 熔盐储能在热力行业应用的新局面，为首都清洁供热树立新典范，同时京能集团建设了国内首台落地的 8MW 熔盐储能供蒸汽示范项目，国内非光热型（电加热）熔盐储能装机容量已达 729.25MW。

根据国家能源局综合司《关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》，“十四五”期间全国光热发电每年新增开工规模力争达到 300 万千瓦左右，熔盐储热技术作为现阶段光热发电领域的主要储能技术，具有广阔发展前景。相较于光热发电领域，熔盐储热技术应用方式日趋多样化，可参与火电机组深度调峰改造、消纳可再生绿电供热等，可以更加有效降低我国工业领域的终端用能碳排放，发展潜力巨大。

## 1 技术介绍

### 1.1 技术原理介绍

熔盐储能是一种显热储热技术，利用材料在升温或降温过程中的温差而实现热能存储，在整个工作温度范围内，储热材料始终保持液态，系统具有适用范围广、绿色环保、安全稳定等优点，是目前大规模中高温储热技术的首选<sup>[6]</sup>。熔盐储热系统的原理是利用风、光弃电或电网谷电加热熔盐，将电力以热量的形式存储，在需要用能时通过换热器将熔盐中的热能转换为高温蒸汽，通过汽轮机发电机组发电或直接用于供热。

熔盐储热系统一般为双罐储热系统（热熔盐罐和冷熔盐罐），主要由熔盐储罐系统、电加热系统、换热系统以及控制系统等组成。熔盐储热系统工作过程主要分为熔盐储热过程、熔盐放热过程和蒸汽 / 水换热过程。熔盐储热阶段，首先低温盐罐的熔盐经熔盐泵进入到熔盐—蒸汽换热器中加热，加热后进一步输送至电加热器中再次升温，熔盐加热到目标温度后输送至高温盐罐进行储存。熔盐放热阶段，高温盐罐的熔盐通过熔盐泵进入蒸汽发生系统，产生可直接做功的蒸汽进入汽轮机组发电，放热后的熔盐重新回到低温盐罐中<sup>[7]</sup>。

### 1.2 技术优点介绍

熔盐储热技术系统结构简单，储热介质廉价且易获得，经过国内外光热电站的实践，技术成熟、稳定、可靠。具体有以下优点：安全性高，熔盐储热饱和蒸汽压低，化学稳定性好，无污染；储热功率大，具有广泛的使用温度范围，温度可达 550℃ 或更高，放热蒸汽参数可以达到亚临界参数；储热规模大，可以实现百兆瓦级储热，储热时间长；放热速度快，可以满足负荷大幅度波动的调节需求；储热效率高，接近抽水蓄能综合效率，能耗低；使用寿命长，熔盐储热系统使用寿命可达 30 年以上。

### 1.3 应用场景介绍

在储热技术中，熔盐是一种比较理想的储热介质。相比水储热，熔盐储热的工作温度区间更宽，可以在中高温储热场景使用，因此熔盐储热技术可以在多种场景下应用<sup>[8]</sup>。根据熔盐储热项目在电网中应用位置，可分为电源侧、电网侧和用户侧。

#### 1.3.1 电源侧

风电光伏发电-消纳弃电存储熔盐储热系统中，可平滑发电曲线，提高发电量，参与电网调峰，提升新能源电力供应的安全稳定性。

光热发电-利用太阳能聚光系统将熔盐加热存储在熔盐储罐中，电网需要时将热能转化为电能，可以提高太阳能的利用效率，减少电源功率波动，促进平稳输出。

火（热）电机组改造-将汽轮发电机或锅炉多余能量存储在熔盐储罐中，在负荷高峰时将存储热量用于发电或供热，可提高火（热）电机组灵活性，实现深度调峰能力。

#### 1.3.2 电网侧

独立储能发电-在电网电力供给盈余或需求低谷时将电力以热能形式存储在熔盐储罐中，在电网需要时再将热能转化为电能，从而实现电网削峰填谷、系统调频目的，提高电网灵活性和稳定性，同时可获得调峰电量补偿、容量租赁收益等。

#### 1.3.3 用户侧

综合能源供应-在用户侧，将廉价的低谷电存储在熔盐储罐中，在需要时可供应热、电，代替传统化石能源供给，减少环境污染，降低用能费用，可对电网削峰填谷，实现工业园区绿色低碳供能。

## 2 项目经济性分析

本章节针对用户侧储热供蒸汽项目，即采用二元熔盐储热系统在低谷时段将电存储，并在需要时由储热系统提供蒸汽的项目，通过对此类项目建设成本、运营成本和运营收入的分析，进一步分析不同储热容量项目的经济性。

### 2.1 建设成本分析

将熔盐储热供蒸汽系统分为熔盐储罐系统、熔盐电加热系统、熔盐泵及阀组系统、蒸汽发生器系统（包含给水除氧系统）、电气及自控系统和其它附属等六个子系统，并综合设备厂家、设计院以及熔盐储热项目集成商等对子系统的报价，整理不同储热容量项目的建设成本，并得到熔盐储热项目建设成本分析图，详见图 1。

（注：熔盐储热供蒸汽项目以配置 12 小时储热容量，24 小时连续供热的熔盐储热供蒸汽项目为例，报价未考虑土地成本）

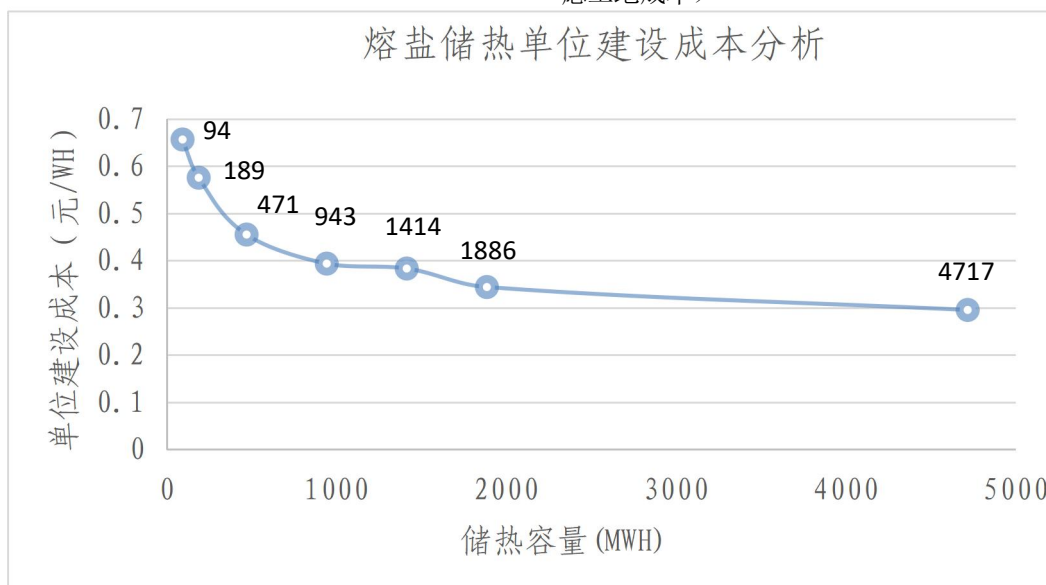


图 1 建设成本分析

熔盐储热项目建设成本受建设规模、土地价格等多方面因素的影响，通过分析，熔盐储热供蒸汽项目的单位建设成本随着建设规模的增大呈下降趋势，单位建设成本在 0.3-0.65 元/Wh 之间。

2.2 运营收益分析

熔盐储热供蒸汽项目运营收益的影响因素包括运营成本 and 运营收入。项目运营成本包括电费、水费、人员工资以及日常维保费用等，其中电费为主要运营成本，由基本电费、容量电费、输配电费等组成。项目运营收入可通过多种方式实现，包括但不限于调峰电量补偿、容量租赁、电力辅助服务、热力供应等。在影响项目运营收益的因素中“调峰电量补偿、容量租赁、电力辅助服务以及基本电费、容量电费、输配电费、政府附加性基金”等有很强的政策性，例如在用户侧储能项目中，下网电的容量电费、输配电费能否减免是影响项目是否盈利的主要因素。

在不考虑政策性因素的影响下，对于用户侧熔盐储热供蒸汽项目，通过蒸汽能量换算以及不同项目方案经验分析，熔盐储热系统生产一吨蒸汽的成本由能源消耗成本（产生 1 吨蒸汽需消耗 600-800 度电）和建设、运维等均摊成本（约 100-120 元/吨）组成。例如当下网电价为 0.3 元/度，蒸汽能源成本价格为 240 元/吨，加上建设、运维、人员等成本，蒸汽成本约 340 元/吨。

2.3 投资回收分析

根据本章节 2.1 建设成本分析和章节 2.2 运营收益分析的数据，以用户侧熔盐储热供蒸汽项目为例，热力售卖作为收入的单一来源，对不同储热规模的项目进行静态投资收益分析，详见表 1。（注：本表是按照项目为 12 小时储热，24 小时持续稳定放热，年运行时间 350 天，低谷电价 0.3 元/度，热价为 0.5 元/kwh 边界计算）

表 1 不同容量储热规模的项目投资收益计算表

储热量（MWH）	建设价格（万元）	单位建设成本（元/MWh）	低谷电价（元/kwh）	建设及人工费均摊（元/kwh）	热力售价（元/kwh）	年利润（万元）	静态回收周期（年）
84	6164	0.734	0.3	0.18	0.5	117.6	52.415
126	8954	0.711	0.3	0.17	0.5	264.6	33.840
168	11206	0.667	0.3	0.17	0.5	352.8	31.763
252	15174	0.602	0.3	0.16	0.5	705.6	21.505
420	22118	0.527	0.3	0.16	0.5	1176	18.808
630	29981	0.476	0.3	0.16	0.5	1764	16.996
840	37401	0.445	0.3	0.16	0.5	2352	15.902
1260	51557	0.409	0.3	0.15	0.5	4410	11.691
1680	65203	0.388	0.3	0.15	0.5	5880	11.089
2100	78548	0.374	0.3	0.15	0.5	7350	10.687
2520	91690	0.364	0.3	0.14	0.5	10584	8.663
3360	117566	0.350	0.3	0.14	0.5	14112	8.331

通过本章节分析，影响用户侧熔盐储热供蒸汽项目经济性的因素包括建设成本、用能成本、人员成本以及政策性补贴等因素。熔盐储热系统复杂，建设成本较高，规模化效应显著，随着项目建设规模的增大单位建设成本降低，可提升项目经济性，同时降低电价或提升热力售价也可提升项目经济性。

3 项目开发关注重点

在用户侧熔盐储热项目开发过程中，影响项目能否开发的因素很多，其中需要关注的重点包括项目的土地情况、电力情况、用热情况等。

3.1 土地情况

需要了解项目拟选用地范围和坐标、用户土地规划、用户周边土地规划、拟选用土地与用户的距离等，项目所需土地面积一般不小于 2000 m²，项目体量越大占地面积越大。

3.2 下网电情况

需要了解厂区变压器电负荷余量，如果余量不足，需要了解项目周边变电站及电网信息；需要了解下网电时长和电价，包括但不限于低谷段交易电价、输配电价、政府附加基金、基本容量电费等。

### 3.3 上网电价及政策

需要了解上网电价及储能项目上网政策,以及电网调峰电量补偿、容量租赁等补贴政策。

### 3.4 用热情况

需要了解用户蒸汽参数、年总蒸汽需求、平均蒸汽需求、最大蒸汽需求、目前的蒸汽供热运行曲线,用能时长(是否连续稳定)及当前蒸汽价格,蒸汽是否有冷凝水回水,回水率是多少等。

### 3.5 其它

需要了解目前当地的工业用水(除盐水)水价,用人成本(含福利),资本金比例、贷款利率,并核查各类税费等。

## 4 总结与展望

熔盐储热是一种安全无污染、稳定性高、储热密度高的长时储能方式,是用户侧储能的理想选择。现阶段影响熔盐储热项目经济性的因素主要包括项目的规模、能源的成本和热力产品售价。在开发熔盐储热项目时首选当地主要能源能量价格高于谷电能量价格地区,并具有大量且稳定蒸汽需求的用户。随着“双碳”目标的提出,谷峰电价差的增大和技术的进步,熔盐储热技术在现代能源体系中扮演着越来越重要的角色,竞争潜力会越来越高,市场潜力也会越来越大。

### 参考文献

- [1]杨水丽, 来小康, 丁涛, 等. 新型储能技术在弹性电网中的应用与展望[J]. 储能科学与技术, 2023, 12 (2): 515-528.
- [2]何雅玲. 热储能技术在能源革命中的重要作用[J]. 科技导报, 2022, 40 (4): 1-2.
- [3]魏小兰, 谢佩, 张雪钊, 等. 氯化物熔盐材料的制备及其热物理性质研究[J]. 化工学报, 2020, 71 (5): 2423-2431.
- [4]王辉, 李俊, 祝培旺, 等. 应用于火电机组深度调峰的百兆瓦级熔盐储能技术[J]. 储能科学与技术, 2021, 10 (5): 1760-1767.
- [5]魏子敬. 熔盐储热技术在供热领域的应用[J]. 应用科技, 2022, 02 (53): 186-188.
- [6]袁振国. 熔盐储能供蒸汽技术的应用前景分析[J]. 能源与节能, 2022, 03 (198): 116-119.
- [7]宋晓辉, 韩伟, 王兴, 李正宽. 基于高温熔盐储热系统的火电机组深度调峰方案对比及分析[J]. 热能动力工程, 2023. 38 (11): 63-74.
- [8]张钟平, 刘亨, 谢玉荣, 等. 熔盐储热技术的应用现状与研究进展[J]. 综合智慧能源, 2023, 45 (9): 42-57.

作者简介: 张少杰(1988.02-), 男, 汉族, 河北省廊坊市人, 本科, 中级, 研究方向: 热能与储能方向。